

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Beetz, Uwe

Restkörperanalyse zur Beurteilung der Gefahr des globalen Versagens bei Erdbebeneinwirkung für Staudämme

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103541>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Beetz, Uwe (2012): Restkörperanalyse zur Beurteilung der Gefahr des globalen Versagens bei Erdbebeneinwirkung für Staudämme. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Staubauwerke - Planen, Bauen, Betreiben. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 47. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 115-123.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Restkörperanalyse zur Beurteilung der Gefahr des globalen Versagens bei Erdbebeneinwirkung für Staudämme

Uwe Beetz

In der DIN 19700 vom Juli 2004 sind die derzeit allgemein anerkannten Regeln der Technik für die Planung, den Bau, den Betrieb und den Nachweis der Sicherheit für Stauanlagen zusammengefasst. Diese ersetzt die Ausgabe vom Januar 1986. Mit dem Nachweis der Sicherheit nach dieser Vorschrift wird ein dem von Stauanlagen ausgehenden Gefährdungspotenzial gerechtes Sicherheitsniveau gewährleistet.

Für bestehende Stauanlagen liegen die Sicherheitsnachweise meist nach den zur Zeit der Planung gültigen Vorschriften mit den damals bekannten Berechnungsgrundlagen vor. Für Stauanlagen ist in größeren Zeitabständen eine vertiefte Überprüfung der Anlagensicherheit durchzuführen, um die Sicherheit auf dem derzeit gültigen Niveau nachzuweisen. Bei einer vertieften Überprüfung werden auch die Vollständigkeit und Aktualität der Berechnungsgrundlagen geprüft. Dazu gehören die Lastannahmen, insbesondere die mögliche Erdbebeneinwirkung. Häufig liegen die anzusetzenden Erdbebeneinwirkungen über den älteren Vorgaben oder werden überhaupt erstmalig berücksichtigt. Daraus kann sich ergeben, dass die Sicherheit für den Lastfall Bemessungserdbeben nicht normgerecht nachgewiesen werden kann. Nach DIN 19700 muss die Stauanlage der Einwirkung eines Erdbebens in der Bemessungsgröße ohne globales Versagen mit der erforderlichen Sicherheit widerstehen. Das heißt, Schäden in begrenztem Umfang dürfen auftreten, aber ohne die globale Standsicherheit zu beeinträchtigen. Es ist jedoch nicht geregelt, wie vorzugehen ist, um den Schadensumfang dahingehend zu begrenzen.

Im Vortrag wird vorgestellt, wie durch die Betrachtung von Restkörpern für verschiedene Bruchszenarien an Staudammböschungen der Nachweis einer hinreichenden Tragsicherheit gegenüber dem globalen Dammversagen im Erdbebenfall geführt werden kann.

Die praktische Anwendung einer Restkörperbetrachtung wird für die Absperrdämme der Talsperren Auma und Hohenleuben beschrieben. Für die Talsperre Auma ist das dargestellte Verfahren vom Prüfsingenieur bereits akzeptiert worden. Bei der Talsperre Hohenleuben ist das Prüf- und Genehmigungsverfahren noch durchzuführen.

Stichworte: Talsperre, Staudamm, Sicherheitsnachweise, Erdbebeneinwirkung, globales Versagen, Restkörperbetrachtung

1 Grundlagen

In der DIN 19700 vom Juli 2004 [1], [2] sind die derzeit allgemein anerkannten Regeln der Technik für die Planung, den Bau, den Betrieb und den Nachweis der Sicherheit für Stauanlagen zusammengefasst. Diese ersetzt die Ausgabe vom Januar 1986. Mit dem Nachweis der Sicherheit nach dieser Vorschrift wird ein, dem von Stauanlagen ausgehenden Gefährdungspotenzial gerechtes Sicherheitsniveau gewährleistet.

Für bestehende Stauanlagen liegen die Sicherheitsnachweise meist nach den zur Zeit der Planung gültigen Vorschriften mit den damals bekannten Berechnungsgrundlagen vor. Für Stauanlagen ist in größeren Zeitabständen eine vertiefte Überprüfung der Anlagensicherheit durchzuführen, um die Sicherheit auf dem derzeit gültigen Niveau nachzuweisen.

Bei einer vertieften Überprüfung werden auch die Vollständigkeit und Aktualität der Berechnungsgrundlagen geprüft. Dazu gehören die Lastannahmen, insbesondere die mögliche Erdbebeneinwirkung. Häufig liegen die nun anzusetzenden Erdbebeneinwirkungen über den älteren Vorgaben oder werden überhaupt erstmalig berücksichtigt.

Bei der Ausführung von Tragsicherheitsberechnungen für bestehende Stauanlagen im Lastfall Bemessungserdbeben kann sich ergeben, dass die Standsicherheit nicht ohne weiteres normgerecht nachweisbar oder gar nicht mehr nachweisbar ist. Mit dem Bekanntwerden des Sachverhaltes wird der Statiker dies unverzüglich dem Betreiber der betroffenen Stauanlage mitteilen. Dann steht der Betreiber einer Stauanlage vor einem Problem, weil er für die Sicherheit der Anlage verantwortlich ist. Als Sofortmaßnahme kommt eine Absenkung des Stauspiegels in Betracht, um eine normgerechte Standsicherheit herzustellen oder zumindest das Gefährdungspotential zu senken. Eine Absenkung des Stauspiegels schränkt aber die planmäßige Nutzung ein. Die Ertüchtigung einer Stauanlage erfordert einen hohen Zeitaufwand für die Vorbereitung und Ausführung und verursacht in der Regel auch sehr hohe Kosten. Der Betreiber ist verpflichtet den Sachverhalt auch der zuständigen Aufsichtsbehörde mitzuteilen. In dieser Mitteilung ist es möglich, der Aufsichtsbehörde Vorschläge hinsichtlich des weiteren Vorgehens zu unterbreiten. Als Grundlage für den Vorschlag zum weiteren Vorgehen wird eine Beurteilung der Gefährdung benötigt.

Nach DIN 19700 Teil 10 [1], Abschnitt 8.4 muss die Stauanlage der Einwirkung eines Erdbebens in der Bemessungsgröße ohne globales Versagen mit der erfor-

derlichen Sicherheit widerstehen. Das heißt, Schäden in begrenztem Umfang dürfen auftreten, aber ohne die globale Standsicherheit zu beeinträchtigen. Es ist jedoch nicht geregelt, wie vorzugehen ist, um den Schadensumfang dahingehend zu begrenzen.

Im Beitrag wird vorgestellt, wie durch die Betrachtung von Restkörpern für verschiedene Bruchszenarien an Staudammböschungen der Nachweis einer hinreichenden Tragsicherheit gegenüber dem globalen Dammversagen im Erdbebenfall geführt werden kann.

Die mögliche Einschränkung der Wirksamkeit oder der Ausfall baulicher Einrichtungen (z. B. der Dammdichtung) oder die Beeinträchtigung von Bauwerksteilen infolge Erdbebeneinwirkung ist nicht Gegenstand des Beitrages, muss aber ggf. zusätzlich untersucht werden.

2 Beurteilung der Gefahr eines globalen Versagens

Der Begriff „globales Versagen“ ist in der DIN 19700 nicht explizit definiert. Es ist zweifelsfrei von einem globalen Versagen auszugehen, wenn sich der Stauraum unkontrollierbar infolge einer Einwirkung entleert. Es ist im Einzelfall zu untersuchen, welches Szenario dazu führen kann.

Selbstverständlich kommt es zu einer unkontrollierbaren Entleerung, wenn sich im Absperrbauwerk eine Bresche bildet, die sich ganz oder teilweise unterhalb des jeweiligen Stauspiegels befindet.

Aus den Tragsicherheitsberechnungen lässt sich entnehmen für welche Bauwerksteile bzw. Bauwerksabschnitte bei der Erdbebeneinwirkung die Tragsicherheit nicht normgerecht bzw. nicht nachweisbar ist. Für die folgende Betrachtung wird der Zustand „nicht normgerecht nachweisbar“ als Kriterium definiert, weil der Zustand „nicht nachweisbar“ eine nichttragbare Unterschreitung des Sicherheitsniveaus darstellt.

2.1 Staumauern

Bei Staumauern ergibt sich die größte Auslastung der Sicherheitskriterien bei Erdbebeneinwirkung häufig in der Nähe der Mauerkrone. Bei einer Unterschreitung der normgerechten Sicherheit ist zu ermitteln, für welche Schnittfläche durch das Bauwerk die Tragsicherheit gerade noch normgerecht (z. B. $\gamma = 1,1$)

ist. Wenn die Bruchfläche unterhalb des Wasserspiegels bei Einstau bis zum Stauziel an der Wasserseite austritt, ist mit einem globalen Versagen bei Einwirkung des Bemessungserdbebens zu rechnen. In diesem Fall ist der Stauspiegel mindestens so weit abzusenken, bis sich die gerade noch normgerechte Schnittlinie wasserseitig über dem Stauspiegel ergibt. Dazu sind in der Regel mehrere ergänzende Tragsicherheitsberechnungen mit schrittweise reduzierten Stauspiegeln und Erdbebeneinwirkung erforderlich. Damit ist die Untersuchung noch nicht abgeschlossen. Es schließt sich eine Restkörperbetrachtung an. Darin ist zu untersuchen, wie sich der gebrochene Mauerteil nach der Erdbebeneinwirkung verhält und wie sich dieses Verhalten auf die Sicherheit der Staumauer auswirkt. Die Restkörperbetrachtung für Staumauern ist nicht Gegenstand dieses Beitrages und wird deshalb hier nicht weiter beschrieben.

2.2 Staudämme

Bei Staudämmen ergibt sich der Bereich für den die Tragsicherheit nicht normgerecht nachweisbar ist, meistens nur an der luftseitigen Dammböschung. In diesem Fall wird folgendes Verfahren vorgeschlagen:

Wie bei Staumauern ist die Grenzfläche zu ermitteln, in welcher die Tragsicherheit gerade noch normgerecht ist. Bei Untersuchung der Tragsicherheit mit einem Lamellenverfahren ist dies die umhüllende Fläche aller maßgebenden Gleitkörper mit einer nicht normgerechten Tragsicherheit. Bei kontinuumsmechanischen Berechnungen lässt sich der Bereich mit einer nicht normgerechten Tragsicherheit mit dem Verfahren der sogenannten ϕ - c -Reduktion ermitteln. Dabei wird die Scherfestigkeit der Dammbaustoffe, beschrieben durch den Reibungswinkel ϕ und die Kohäsion c , relativ um den normativ erforderlichen Abstand der Sicherheit bis zum Bruch reduziert und damit die Bruchzone im Bauwerk ermittelt. Wenn die mögliche Bruchfläche den Dammkörper bis unter die Wasserlinie zuzüglich des erforderlichen Freibordes schneidet, ist wie bei Staumauern mit einem schnellen globalen Versagen bei Einwirkung des Bemessungserdbebens zu rechnen. In diesem Fall ist der Stauspiegel mindestens so weit abzusenken, bis sich die gerade noch normgerechte Bruchfläche wasserseitig über dem Stauspiegel zuzüglich des Freibordes ergibt.

2.3 Beurteilung der Restkörper an Dämmen

Es ist nachfolgend zu betrachten, welche Auswirkungen sich aus der Schädigung auf die Tragsicherheit des Bauwerkes ergeben. Dafür ist zu untersuchen wie sich die Zone des Bauwerkes mit einer nicht normgerechten Tragsicherheit verhält.

Bei der Beurteilung ist zu beachten, dass die Einwirkungsdauer von Erdbeben (Strong-Motion) in Europa nur kurz ist (≤ 10 s) [3]. Aufgrund der Trägheit wird sich der Bruchkörper während des Erdbebens nur wenig verschieben. Nach [4] oder [5] kann die zu erwartende Verschiebung für einzelne Gleitkörper an Dämmen berechnet und beurteilt werden. Dies setzt voraus, dass die Massen oberhalb der Bruchfläche nach dem Erdbeben wieder eine normgerechte Tragsicherheit erlangen. Auf dieses Verfahren wird hier nicht weiter eingegangen.

Im Folgenden wird vereinfachend von der Hypothese ausgegangen, dass infolge einer Kette von Brüchen auf verschiedenen Gleitflächen der Dammkörper oberhalb der ermittelten Bruchfläche vollständig abgleitet. Damit wird, auf der sicheren Seite liegend, nur noch der unterhalb der Bruchfläche liegende Restkörper des Dammes hinsichtlich seiner Tragsicherheit beurteilt.

Unbekannt ist, wie sich die gelösten Massen nach dem Bruch verhalten. Ohne weitere Untersuchung ist aber mindestens davon auszugehen, dass ihr Gewicht als Belastung wirkt. Es wird zur Beurteilung vorgeschlagen drei mögliche Situationen zu untersuchen:

- Kein Ansatz einer Auflast durch den Abbruchkörper als denkbar ungünstiger Ansatz (Belastungssituation 1).
- Ansatz einer Auflast für den noch nicht abgerutschten Abbruchkörper. Situation direkt nach Ausbildung der Gleitfläche, bei der der Abbruchkörper noch auf dem Restkörper aufliegt, aber in der Gleitfuge und im Material keine Reibungskräfte übertragen werden (Belastungssituation 2). Wahrscheinlicher Zustand während des Bebens, da sich die Massen infolge ihrer Trägheit relativ langsam, in Bezug auf die Dauer der Erdbebeneinwirkung, in Bewegung setzen.
- Ansatz einer Auflast für den bereits bis zum Dammfuß abgerutschten Abbruchkörper als Erdkörper ohne Scherfestigkeit über der Restkörperoberfläche (Belastungssituation 3). Die Last des Erdkörpers wird gleich dem Gewicht des Abbruchkörpers gewählt. Zur Bestimmung der Lastverteilung wird als Hypothese eine ebene Oberfläche des Erdkörpers angenommen (Erdkeil). Damit wird ein möglicher Endzustand nach einer Abrutschung infolge Erdbebeneinwirkung betrachtet.

Die angesetzten Auflasten werden als ständige Lasten betrachtet und können sowohl abtreibend als auch stabilisierend wirken.

Wenn sich bereits bei der Untersuchung der oben genannten Belastungssituation 1 eine normgerechte Tragsicherheit des Restkörpers ergibt, ist nachge-

wiesen, dass infolge der Erdbebeneinwirkung kein globales Versagen eintritt. Wenn nicht sind auch die Belastungssituationen 2 und 3 zu untersuchen. In diesem Fall muss sich für beide Belastungssituationen eine normgerechte Tragsicherheit des Restkörpers ergeben.

3 Restkörperbetrachtung an zwei Beispielen

Die in den Abschnitten 2.2 und 2.3 für Dämme beschriebene Restkörperbetrachtung wird für die in Thüringen gelegenen Absperrbauwerke der Talsperren (TS) Auma und Hohenleuben vorgestellt. Dabei wird auf die Darstellung aller Grundlagen, Berechnungskennwerte, Randbedingungen und weiteren Ergebnisse verzichtet. Betreiber beider Stauanlagen ist die Thüringer Fernwasserversorgung.

3.1 Talsperre Auma

Das Absperrbauwerk der TS Auma besteht aus einem massiven Hochwasserüberfall und einem Damm mit Betonkerndichtung. Bei den Tragsicherheitsberechnungen nach DIN 19700 [1], [2] hat sich ergeben, dass die luftseitige Dammböschung im Lastfall Bemessungserdbeben oberflächennah nicht ausreichend tragsicher ist ($\gamma_{\text{vorh}} = 1,01 < 1,1$). In Abbildung 1 ist der Restkörper (Ausschnitt) ohne Auflast dargestellt. Für diesen Restkörper ergibt sich: $\gamma_{\text{vorh}} = 1,12 > 1,1$. Damit ist die Tragsicherheit des Restkörpers bereits hinreichend nachgewiesen.

In Abbildungen 2 und 3 sind für den Restkörper die Belastungssituationen 2 bzw. 3 dargestellt. Es ergibt sich in der Belastungssituation 2: $\gamma_{\text{vorh}} = 1,16 > 1,1$ und in der Bemessungssituation 3: $\gamma_{\text{vorh}} = 1,34 > 1,1$. Gegenüber der Belastungssituation 1 lassen sich durch die Untersuchung der Belastungssituationen 2 und 3 noch Tragreserven feststellen.

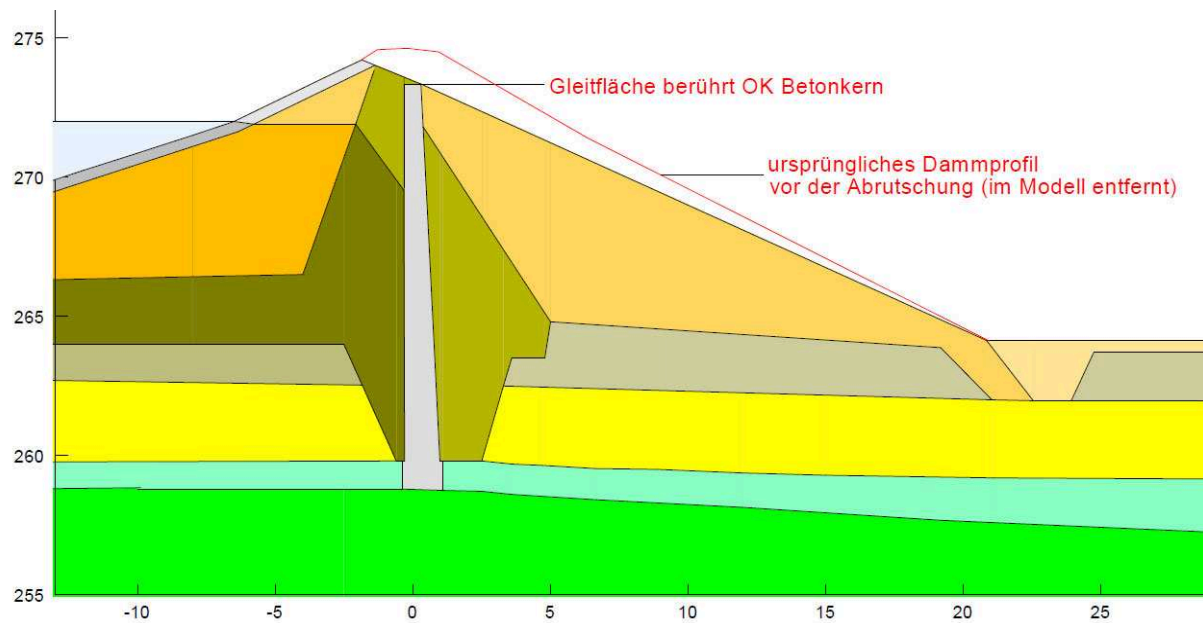


Abbildung 1: TS Auma, Lastfall Bemessungserdbeben, Restkörper ohne Auflast (Belastungssituation 1)

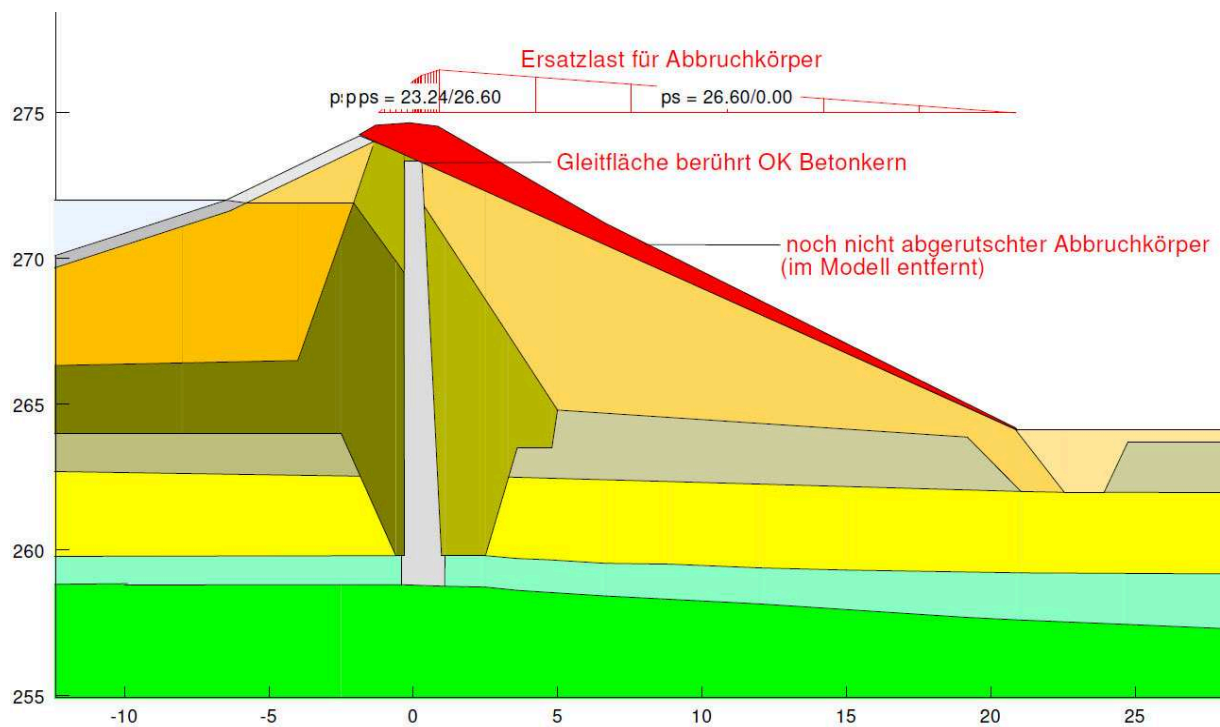


Abbildung 2: TS Auma, Lastfall Bemessungserdbeben, Restkörper mit Auflast in der Belastungssituation 2

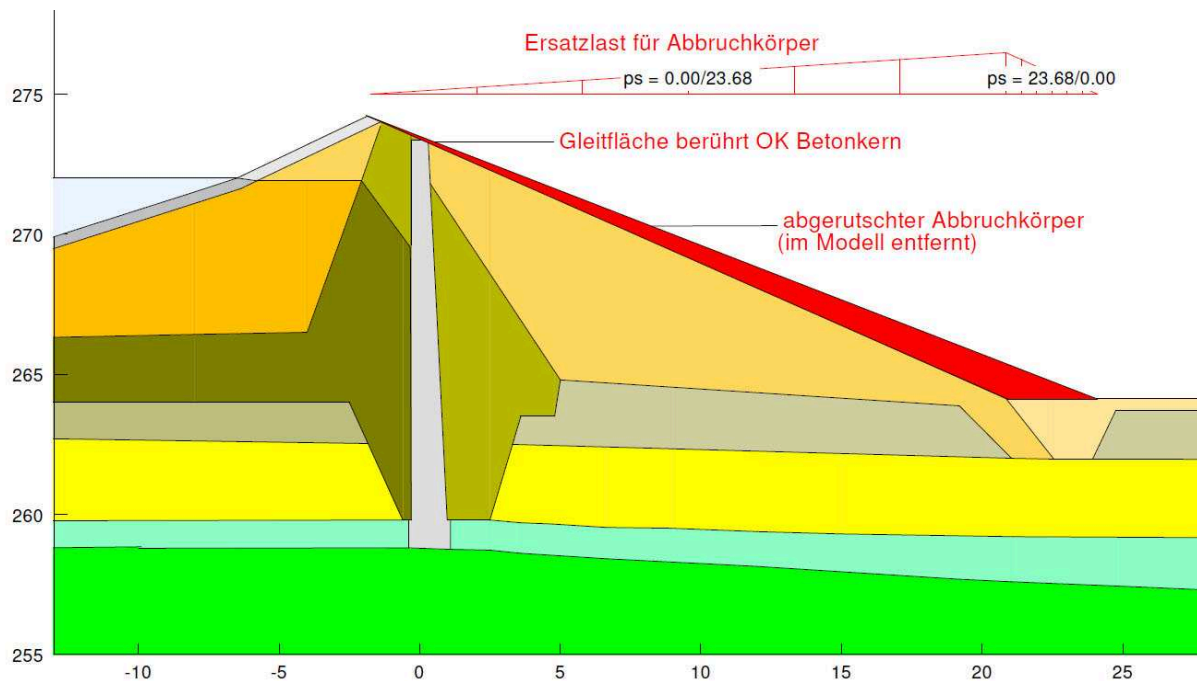


Abbildung 3: TS Auma, Lastfall Bemessungserdbeben, Restkörper mit Auflast in der Belastungssituation 3

Die Restkörperbetrachtung für den Damm der Talsperre Auma wurde vom Prüfingenieur akzeptiert.

3.2 Talsperre Hohenleuben

Das Absperrbauwerk der TS Hohenleuben ist ein Damm mit einer geneigten mineralischen Dichtung. Bei den Tragsicherheitsberechnungen nach DIN 19700 [1], [2] hat sich ergeben, dass die luftseitige Dammböschung im Lastfall Bemessungserdbeben oberflächennah nicht ausreichend tragsicher ist ($\gamma_{\text{vorh}} = 0,83 < 1,1$). Für den Restkörper in der Belastungssituation 1 (ähnlich Abbildung 1) ergibt sich: $\gamma_{\text{vorh}} = 1,23 > 1,1$. Damit ist die Tragsicherheit des Restkörpers bereits hinreichend nachgewiesen.

Für den Restkörper in der Belastungssituation 2 ergibt sich: $\gamma_{\text{vorh}} = 1,41 > 1,1$ und in der Bemessungssituation 3: $\gamma_{\text{vorh}} = 1,58 > 1,1$. Gegenüber der Belastungssituation 1 lassen sich in diesem Fall durch die Untersuchung der Belastungssituationen 2 und 3 noch erhebliche Tragreserven feststellen.

Bei der TS Hohenleuben ist das Prüf- und Genehmigungsverfahren noch durchzuführen.

4 Zusammenfassung

Mit dem vorgestellten Verfahren einer Restkörperanalyse ist es möglich, die Gefahr des globalen Versagens für Staudämme mit relativ geringem Aufwand zu beurteilen. Im Anwendungsfall sind ggf. noch weitere Einflussfaktoren (z. B. Ausfall der Dichtung), die ebenfalls zu einem globalen Versagen führen könnten, zu berücksichtigen. Die einfache Anwendung der Restkörperanalyse ist am Beispiel von zwei Dämmen beschrieben.

5 Literatur

- [1] DIN 19700-10, Stauanlagen – Teil 10: Gemeinsame Festlegungen, Juli 2004
- [2] DIN 19700-11, Stauanlagen – Teil 11: Talsperren, Juli 2004
- [3] Berücksichtigung von Erdbebenbelastungen nach DIN 19700 in Nordrhein-Westfalen - Merkblatt 58, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2006
- [4] Sicherheit von Stauanlagen – Basisdokument zum Nachweis der Erdbebensicherheit, Bundesamt für Wasser und Geologie BWG (Schweiz), März 2003
- [5] Arbeitshilfe zum Nachweis der Erdbebensicherheit von Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken in Baden-Württemberg, LUBW Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Bearbeitungsstand Februar 2010

Autor:

Dipl.- Ing. Uwe Beetz

Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft mbH
Regionalbereich Ost
Ludwig-Hartmann-Straße 40
01277 Dresden

Tel.: +49 351 21123 40
Fax: +49 351 21123 88
E-Mail: ub@hydroprojekt.de